

einer auf die Leiterbahnen zusätzlich aufgebrachten Pad-Oxid-Schicht, erzeugt wird.

In [10] ist eine Airgap-Struktur beschrieben, mit zwei auf 5 einem Substrat ausgebildeten Leiterbahnen, mit einer auf dem Substrat und auf den Leiterbahnen ausgebildeten ersten isolierenden Schicht, welche erste isolierende Schicht ein Silizium-Oxy-Nitrid-Material aufweist, mit einer auf der ersten isolierenden Schicht ausgebildeten zweiten Schicht, 10 welche zweite isolierende Schicht einen Hohlraum zwischen den Leiterbahnen aufweist, und mit einer auf der zweiten isolierenden Schicht ausgebildeten dritten isolierenden Schicht.

15 Der Erfindung liegt insbesondere das Problem zugrunde, ein Material, ein Verfahren zum Herstellen des Materials und eine Schicht-Anordnung mit diesem Material bereitzustellen, welches Material eine ausreichend geringe relative Dielektrizitätskonstante hat und sich nicht oder nur schlecht 20 selektiv auf Ozon/TEOS abscheiden lässt.

Das Problem wird durch ein plasmaangeregtes chemisches Gasphasenabscheide-Verfahren, durch ein Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltiges Material und durch eine Schicht-Anordnung 25 mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßem plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahren zum Bilden eines Silizium- 30 Sauerstoff-Stickstoff-haltigen Materials wird während des Zuführens von Silizium-Material und Sauerstoff-Material Stickstoff-Material unter Verwendung eines organischen Silizium-Precursormaterials zugeführt.

35 Ferner ist erfindungsgemäß ein Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltiges Material geschaffen, das gemäß dem

4a

plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahren mit den oben beschriebenen Merkmalen hergestellt ist.

Die erfindungsgemäße Schicht-Anordnung enthält ein Substrat  
5 und zwei elektrisch leitfähige Strukturen auf dem Substrat. Zumindest ein Teilbereich zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen ist materialfrei. Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltiges Material mit den oben beschriebenen Merkmalen ist zumindest teilweise auf und/oder zwischen den  
10 zwei elektrisch leitfähigen Strukturen gebildet. Ferner enthält die Schicht-Anordnung eine Zwischenschicht aus elektrisch isolierendem Material auf dem Silizium-Sauerstoff-

der Precursoren erfolgt zumeist thermisch, d.h. mittels Heizens des Substrats. Das eigentliche Abscheiden erfolgt unter Beteiligung einer chemischen Reaktion. Beispielsweise reagiert eine flüchtige gasförmige Komponente mit einem 5 anderem Gas zu einem festen Material, das auf dem Substrat abgeschieden wird. Allerdings sind bei dem CVD Verfahren die Prozesstemperaturen relativ hoch.

10 Mit wesentlich geringeren Prozesstemperaturen ist das plasmaangeregte chemische Gasphasenabscheiden-Verfahren (PECVD, "plasma enhanced chemical vapour deposition") durchführbar. Während bei einem CVD-Prozess die Gasphasenreaktion durch thermische Energie infolge Heizens des Substrats ausgelöst wird, beruht ein PECVD-Verfahren auf 15 der Überführung eines Gases in den Plasmazustand in der Nähe der Substratoberfläche. Eines der Reaktionsprodukte ist dabei ein fester Stoff, der sich auf der Oberfläche niederschlägt, wodurch eine neue Schicht aus dem erfindungsgemäßen Material gebildet wird. In einem PECVD-Reaktor wird zwischen dem 20 Substrathalter, der als Elektrode dient, und einer weiteren Elektrode durch ein starkes elektrisches Wechselfeld ein Plasma gezündet. Durch die Energie des Feldes werden Bindungen der in den PECVD-Reaktor eingeleiteten Gasmoleküle aufgebrochen und die Gasmoleküle zersetzt.

25 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung geschaffen,  
• bei dem über einem Substrat mit einer Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Strukturen und/oder über einem 30 Teil der Oberfläche der elektrisch leitfähigen Strukturen eine Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material mittels eines plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheiden-Verfahrens gebildet wird, wobei  
35 - Silizium-Material und Sauerstoff-Material mittels eines organischen Silizium-Precursormaterials Stickstoff-Material zugeführt werden,

- während des Zuführens des organischen Silizium-Precursorsmaterials zusätzlich Stickstoff-Material zugeführt wird,
- die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material derart gebildet wird, dass sie zwischen 3 Atomprozent und 13 Atomprozent Wasserstoff aufweist,
- die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material gebildet wird derart, dass zwischen den Leiterbahnen ein materialfreier Bereich verbleibt,
- bei dem auf der Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material eine Zwischenschicht aus elektrisch isolierendem Material aufgebracht wird, und
- bei dem selektiv auf der Zwischenschicht eine Deckschicht aufgebracht wird, mittels welcher der materialfreie Bereich zwischen den elektrisch leitfähigen Strukturen gegenüber der Umgebung versiegelt wird, so dass der materialfreie Bereich einen Hohlraum ausbildet.

Ferner wird eine Schicht-Anordnung bereitgestellt,

- mit einem Substrat;
- mit zwei elektrisch leitfähigen Strukturen auf dem Substrat, wobei zumindest ein Teilbereich zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen materialfrei ist;
- mit einer Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material, wobei
  - die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material zwischen 3 Atomprozent und 13 Atomprozent Wasserstoff aufweist, und wobei
  - die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material derart auf den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen aufgebracht ist, dass zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen ein materialfreier Bereich verbleibt;
- mit einer Zwischenschicht aus elektrisch isolierendem

Material auf der Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material;

- mit einer auf der Zwischenschicht gebildeten Deckschicht, mittels welcher der materialfreie Bereich zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen gegenüber der Umgebung versiegelt ist.

Insbesondere wurde anschaulich erfindungsgemäß erkannt, dass auf dem auf oben beschriebene Weise gebildeten Silizium-

10 Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material das Material der Deckschicht nicht abgeschieden wird, womit eine selektive Abscheidung der Deckschicht nur auf der Zwischenschicht zum „Schließen der Airgaps“ erreicht wird, ohne dass die Breite der Airgaps zwischen den leitfähigen Strukturen reduziert  
15 wird. Damit wird auf sehr einfache Weise ein Schließen der Airgaps mittels der Deckschicht erreicht, wobei ein zusätzlicher Vorteil in der niedrigen relativen Dielektrizitätskonstante des Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigen Materials zu sehen ist.

20

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Als organisches Silizium-Precursormaterial wird vorzugsweise  
25 ein Sauerstoff-haltiges Material verwendet. Dieses Sauerstoff-haltige Material kann als Sauerstoffquelle zum Bilden des erfindungsgemäßen Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigen Materials dienen.

30 Besonders günstig ist es, als organisches Silizium-Precursormaterial Tetraethylorthosilikat (TEOS), d.h.  $(C_2H_5O)_4Si$ , zu verwenden. Dieses Material stellt in besonders günstiger Weise eine Siliziumquelle und eine Sauerstoffquelle für das erfindungsgemäß gebildete Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltige Material dar, in welches aufgrund der  
35 chemischen Prozesse beim Zersetzen des TEOS-Materials simultan eingeleitetes Stickstoffmaterial eingebaut wird.

10a

Alternativ können im Rahmen der Erfindung zum Beispiel die folgenden Materialien als organisches Silizium-Precursorsmaterial verwendet werden: Methyltriethoxysilan (MTrEOS), Dimethyldiethoxysilan (DMDEOS),  
5 Trimethylethoxysilan (TrMEOS) und/oder Tetramethylsilan (TMS).

Stickstoff-haltigen Materials gelten auch für das plasmaangeregte chemische Gasphasenabscheide-Verfahren.

Das Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltige Material enthält 5 vorzugsweise zwischen 0.1 Atomprozent und 10 Atomprozent Stickstoff. Weiter vorzugsweise sind in dem erfindungsgemäßen Material zwischen 0.5 Atomprozent und 5 Atomprozent Stickstoff enthalten. Besonders günstig ist es, die Parameter des plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-Verfahrens 10 derart einzustellen, dass zwischen 1.4 Atomprozent und 2.3 Atomprozent Stickstoff in dem Material enthalten sind. In diesem Falle ist eine besonders gute Balance zwischen geringer Dielektrizitätskonstante und besonders schlechter Selektivität bezüglich des Aufwachsens von Ozon/TEOS 15 erreichbar.

Das Atomprozentverhältnis zwischen Sauerstoff und Silizium ist vorzugsweise zwischen 1.8 und 1.99. Mit anderen Worten ist das Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltige Material 20 gegenüber stöchiometrischem Siliziumoxid mit einem Atomprozentverhältnis zwischen Sauerstoff und Silizium von zwei dahingehend modifiziert, dass anschaulich Sauerstoffmaterial (zumindest teilweise) durch das zusätzliche Stickstoffmaterial ersetzt ist.

25 Zusätzlich zu dem Siliziummaterial, dem Sauerstoffmaterial und dem Stickstoffmaterial kann das erfindungsgemäße Material zwischen 0.4 Atomprozent und 2.4 Atomprozent Kohlenstoff aufweisen. Möglicherweise kann auch der Kohlenstoff zu den 30 günstigen Materialeigenschaften beitragen, da das erfindungsgemäße Ziel erst bei Verwendung eines organischen, d.h. kohlenstoffhaltigen, Silizium-Precursormaterials erreicht wird.

35 Das Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltige Material der Erfindung weist zwischen 3 Atomprozent und 13 Atomprozent Wasserstoff auf.

zusammen eine Leiterbahnebene definieren. Die mittels des Hohlraums 514 elektrisch isolierten Leiterbahnen 503 sind nebeneinander in einem Leiterbahnabstand A angeordnet, wobei die jeweilige untere Leiterbahnoberfläche senkrecht zur

5 Pufferschichtoberfläche 513 einen Abstand einer Leiterbahntiefe  $T_L$  aufweist, welche größer als die vertikale Dicke der Leiterbahnen 503 ist. Die Hohlraumtiefe  $T_H$  ist größer als die Leiterbahntiefe  $T_L$ , wodurch Streufelder zwischen benachbarten Leiterbahnen 503 in den Bereichen der

10 Pufferschicht 510 direkt oberhalb und unterhalb der Leiterbahnen 503 reduziert werden. Der Hohlraum 514 weist eine Breite auf, welche gleich dem Leiterbahnabstand A ist.

Die teilweise die dritte Stoppschicht 508 sowie die dritte

15 Isolationsschicht 509 ersetzen Leiterbahnen 503 sind mittels eines elektrischen Kontaktes 515 mit der im Grundsubstrat 502 befindlichen Leiterbahn 503 elektrisch gekoppelt und weisen gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel das gleiche Material wie die im

20 Grundsubstrat 502 befindliche Leiterbahn 503 auf. Der elektrische Kontakt 515 durchdringt hierzu die erste Stoppschicht 504, die erste Isolationsschicht 505, die zweite Stoppschicht 506 sowie die zweite Isolationsschicht 507.

25 Ferner befinden sich übereinander die Pufferschicht 510 und die Trageschicht 511, wobei der Hohlraum 514 durch die Pufferschicht 510 hindurchragt sowie zum Teil in die Trageschicht 511 hineinragt.

30 Der Hohlraum 514 wird mittels einer Deckschicht 516 bezüglich der Pufferschichtoberfläche 513 nach oben hin abgeschlossen. Die Deckschicht 516 weist ein Isolationsmaterial auf, welches sich selektiv ausschließlich an der Trageschicht 511 anlagert. Als Material für die Deckschicht 516 wird auf ozon-  
35 aktiviertem Tetraethylorthosilikat ( $O_3/TEOS$ ) basierendes Siliziumdioxid ( $SiO_2$ ) verwendet. Selbstverständlich kann für die Deckschicht 516 auch ein anderes Material gewählt werden,

In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] WO 03/019649 A2;

5 [2] DE 101 25 019 A1;

[3] DE 191 09 778 A1;

[4] DE 199 57 302 A1;

10 [5] DE 41 18 165 A1;

[6] US 2001/0 019 903 A1;

15 [7] JP 06-216 122 A;

[8] US 6,211,057 B1;

[9] US 2003/0 176 055 A1;

20 [10] US 6,445,072 B1.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Herstellen einer Schicht-Anordnung,

- bei dem über einem Substrat mit einer Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Strukturen und/oder über einem

5 Teil der Oberfläche der elektrisch leitfähigen Strukturen eine Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material mittels eines plasmaangeregten chemischen Gasphasenabscheide-

10 Verfahrens gebildet wird, wobei

- Silizium-Material und Sauerstoff-Material mittels eines organischen Silizium-Precursormaterials zugeführt werden,

- während des Zuführens des organischen Silizium-Precursormaterials zusätzlich Stickstoff-Material zugeführt wird,

- die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material gebildet wird derart, dass zwischen den Leiterbahnen ein materialfreier Bereich verbleibt,

- die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material gebildet wird derart, dass sie zwischen 3 Atomprozent und 13 Atomprozent Wasserstoff aufweist;

25 • bei dem auf der Schicht aus Silizium-Sauerstoff-

Stickstoff-haltigem Material eine Zwischenschicht aus elektrisch isolierendem Material aufgebracht wird, und

- bei dem selektiv auf der Zwischenschicht eine Deckschicht aufgebracht wird, mittels welcher der

30 materialfreie Bereich zwischen den elektrisch leitfähigen Strukturen gegenüber der Umgebung versiegelt wird, so dass der materialfreie Bereich einen Hohlraum ausbildet.

35 2. Verfahren nach Anspruch 1,

bei dem als organisches Silizium-Precursormaterial

Tetraethylorthosilikat verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

- bei dem Tetraethylorthosilikat und Stickstoff als Precursoren verwendet werden;

5 • bei dem das Flussratenverhältnis von Tetraethylorthosilikat zu Stickstoff zwischen 1:10 und 1:1 eingestellt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

- bei dem Tetraethylorthosilikat und Stickstoff als Precursoren verwendet werden;

10 • bei dem das Flussratenverhältnis von Tetraethylorthosilikat zu Stickstoff zwischen 1:5 und 1:2 eingestellt wird.

15

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

- bei dem Tetraethylorthosilikat und Stickstoff als Precursoren verwendet werden;

20 • bei dem das Flussratenverhältnis von Tetraethylorthosilikat zu Stickstoff zwischen 11:40 und 7:20 eingestellt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

bei dem Helium als Trägergas zugeführt wird.

25

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

bei dem der Druck in der Verfahrenskammer zwischen 440Pa und 1750Pa eingestellt wird.

30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

bei dem die Temperatur in der Verfahrenskammer zwischen 300°C und 500°C eingestellt wird.

9. Schicht-Anordnung

35

- mit einem Substrat;

• mit zwei elektrisch leitfähigen Strukturen auf dem Substrat, wobei zumindest ein Teilbereich zwischen den

- zwei elektrisch leitfähigen Strukturen materialfrei ist;
- mit einer Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material, wobei
  - die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material zwischen 3 Atomprozent und 13 Atomprozent Wasserstoff aufweist,
  - die Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material derart auf den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen aufgebracht ist, dass zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen ein materialfreier Bereich verbleibt;
- mit einer Zwischenschicht aus elektrisch isolierendem Material auf der Schicht aus Silizium-Sauerstoff-Stickstoff-haltigem Material;
- mit einer auf der Zwischenschicht gebildeten Deckschicht, mittels welcher der materialfreie Bereich zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Strukturen gegenüber der Umgebung versiegelt ist.

**Bezugszeichenliste**

- 100 Schicht-Anordnung
- 101 Silizium-Substrat
- 102 erste Kupfer-Leiterbahn
- 103 zweite Kupfer-Leiterbahn
- 104  $Si_{1.00}O_{1.90}H_{0.27}C_{0.045}N_{0.06}$ -Material
- 105 Silan-basierte Siliziumoxid-Zwischenschicht
- 106 Ozon/TEOS-Deckschicht
- 107 Airgap
  
- 200 Elektronenmikroskop-Aufnahme
- 201 Deckschicht
- 202 Airgaps
- 203 Seitenwandbedeckung
- 204 Dielektrikum
  
- 300 Elektronenmikroskop-Aufnahme
- 301  $Si_{1.00}O_{1.90}H_{0.27}C_{0.045}N_{0.06}$ -Material
  
- 400 Elektronenmikroskop-Aufnahme
- 401 Kupfer-Leiterbahnen
  
- 500 Schicht-Anordnung
- 502 Grundsubstrat
- 503 Leiterbahn
- 504 erste Stoppschicht
- 505 erste Isolationsschicht
- 506 zweite Stoppschicht
- 507 zweite Isolationsschicht
- 508 dritte Stoppschicht
- 509 dritte Isolationsschicht
- 510 Pufferschicht
- 511 Trageschicht

512 vierte Stoppschicht  
513 Pufferschichtoberfläche  
514 Hohlraum  
515 elektrischer Kontakt  
516 Deckschicht  
517 Deckschicht/Trageschicht-Oberfläche  
518 fünfte Stoppschicht

600 Schicht-Anordnung